

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS GUIMARÃES AMÂNCIO

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE USO DE IMAGENS DE SATÉLITES
PASSIVOS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM FLORESTAS NATIVAS

CURITIBA

2016

LUCAS GUIMARÃES AMÂNCIO

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE USO DE IMAGENS DE SATÉLITES
PASSIVOS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM FLORESTAS NATIVAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Especialização em Manejo Florestal
de Precisão, do Programa de Educação
Continuada em Ciências Agrárias, da
Universidade Federal do Paraná, como pré-
requisito para obtenção do título de especialista.
Orientador (a): Prof. Dr. Ana Paula Dalla Corte.

CURITIBA

2016

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE USO DE IMAGENS DE SATÉLITES PASSIVOS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM FLORESTAS NATIVAS

Lucas Guimarães Amâncio¹

¹Engenheiro Florestal, Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil, Avenida Professor Lothário Meissner, 900, Jardim Botânico, Curitiba, Paraná, 80210-170, Brasil, e-mail: amancio.floresta@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo fazer uma revisão sobre o uso de sensores remotos passivos para estimar, indiretamente, parâmetros florestais, como é o caso da biomassa vegetal acima do solo. O monitoramento *in loco*, como o inventário florestal, pode ser oneroso e exigir muitos recursos humanos para cobrir a totalidade da área, já o sensoriamento remoto permite uma abrangência em larga escala da área de estudo. A priori, foi realizada uma pesquisa, em trabalhos científicos nacionais e internacionais, sobre estudos de biomassa vegetal nas florestas. Foi constatado que muitos autores defendem o uso de sensores para estimar parâmetros florestais. Durante os anos, diversos sensores passivos foram utilizados para estimar biomassa, fato que é observado na evolução das resoluções dos mesmos. A maioria dos trabalhos analisados, cita que os índices de vegetação, como o NDVI, e as bandas do vermelho e infra-vermelho possuem, normalmente, maiores correlações com dados provindos do campo, em comparação com as faixas do azul e do verde. Muitos autores utilizaram das Regressões Lineares e Não-lineares para gerarem modelos que explicam as variáveis dependentes desejadas, como biomassa acima do solo, já outros autores, afirmam que Redes Neurais Artificiais podem explicar suas variáveis dependentes com maior acurácia.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Estimativa da floresta. Biomassa.

ABSTRACT

This paper aims to make a review on the use of passive remote sensors to indirectly estimate forest parameters such as plant biomass above ground. The monitoring *in loco*, such as forest inventory, can be costly and require many human resources to cover the entire area, so remote sensing allows you to coverage on a large scale of the study area. At first, a research of several national and international papers of vegetable biomass in forests studies was performed. It has been verified that many authors are in favor of the use of sensors to estimate forest parameters. Throughout the years, several passive sensor were used to estimate above ground biomass, this can be observed at the evolution of their resolutions. Most of the analyzed papers mentions that the vegetation index, such as NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), and the bands of red and infrared have higher correlations with data from forest inventory than blue and green bands. Many authors have used the Linear and Non-linear Regressions to generate models that explain the desired dependent variables and other authors affirm that Artificial Neural Networks can explain their dependent variables with bigger accuracy.

Key-words: Remote sense. Forest estimation. Biomass.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS.....	8
2.1 GERAL.....	8
2.2 ESPECÍFICOS	8
3. MATERIAIS E MÉTODOS	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
5. CONCLUSÕES	16
6. AGRADECIMENTOS	17
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

1. INTRODUÇÃO

Temos um alto consumo de combustíveis fósseis e derivados de petróleo, estando eles, presentes nos mais variados produtos de nosso cotidiano. Aliado a isso, o ser humano utiliza de modo exacerbado os recursos naturais, sejam eles florestais (madeireiros e não-madeireiros) ou não. O consumo de bens oriundos do meio ambiente somado ao desmatamento, para que novas áreas de agricultura, pecuária, mineração e reservatórios de barragens sejam abertas e implantadas, nos faz indagar sobre o que podemos fazer para mudar esse comportamento. Essas atitudes antrópicas geraram uma grande liberação de carbono para a atmosfera (WATZLAWICK et al., 2009). Sendo assim, Silveira et al. (2007) afirmam que há um consenso para que estratégias sejam tomadas, para que consigamos reverter este quadro e diminuir as emissões de CO₂ na atmosfera.

Desse modo, temos as florestas como grandes “sequestradoras” de carbono. Isso nos faz pensar na preservação das mesmas e no plantio de árvores, visto em reflorestamentos, como uma alternativa econômica à abertura de novas áreas (SOARES et al., 2005). O fato de poder manter florestas em pé, e conseguir estocar carbono, fez aumentar muito o interesse em estudar e melhor compreender a biomassa vegetal (SILVEIRA et al. 2007). O estudo de biomassa vegetal permite fazer inferências sobre produtividade da floresta, impactos ambientais, mudanças da quantidade de biomassa com o passar do tempo, uso de biomassa para energia e estimar balanço de carbono (VIANA et al., 2010, 2012). Watzlawick et al. (2009, 2006) citam as florestas como sumidouros de carbono, e este acúmulo está estocado na biomassa vegetal. A estimativa de biomassa e a geração de mapas de biomassa e de características das florestas, nos dão informações importantes para realizar estudos para quantificação de estoque de carbono e monitoramento de práticas de manejo (ZHENG et al., 2004).

Lu (2006) afirma que a estimativa de biomassa acima do solo tem sido feita de diversos métodos, desde aqueles medidos em campo, até aqueles que utilizam sensores remotos, sistemas de informações geográficas. Segundo Ximenes & Amaral (2010), parâmetros estruturais e dendrométricos, como diâmetro à altura do peito e altura de árvores, são obtidos em levantamentos no campo e podem fornecer informações sobre biomassa, ciclagem de carbono, balanço de energia,

hidrologia e mudanças climáticas em florestas tropicais. O monitoramento da floresta, que requer medições em campo, gera, normalmente, equações alométricas para estimar biomassa (ZIANIS et al., 2005; VIANA et al., 2012). Embora a biomassa acima do solo possa variar com composição de espécies do local, altura e área basal, o diâmetro à altura do peito é o dado coletado mais comum e amplamente utilizado para estimar área basal (ZHENG et al., 2004 e VAHEDI, 2016).

O monitoramento constante da realidade do campo torna-se difícil pelas limitações de tempo, capital e recursos humanos (XIMENES & AMARAL, 2010). O inventário florestal convencional pode ser muito oneroso em tempo, refletindo diretamente na parte econômica do projeto (CALVÃO & PALMEIRIM, 2004; ALMEIDA et al, 2009). Este fato pode ser agravado se levarmos em conta as grandes dimensões de um país, como o Brasil, e suas diferentes fitofisionomias ao longo deste, e assim, temos variações biofísicas, diferentes composições de espécies, disposições foliares e estrutura de dossel (SCHARAMM & VIBRANS, 2007). Outro fator que dificulta a mensuração *in loco*, é a acessibilidade do local de trabalho, seja por relevo irregular, grandes extensões de matas, rios ou outros. Watzlawick et al. (2006) afirmam que a biomassa pode ser estimada de modo direto, em que os indivíduos são cortados, medidos e pesados, ou então do modo indireto, através de equações e técnicas de sensoriamento remoto.

O sensoriamento remoto pode ser usado como ferramenta ideal para o monitoramento de ecossistemas terrestres, pois permite o estudo em larga escala, e, ao mesmo tempo, relata da capacidade desta técnica de fazer varreduras periódicas da superfície da Terra (FOODY, 2003; CALVÃO & PALMEIRIM, 2004; ZHENG et al., 2004). Nagendra (2001) defende o uso do sensoriamento remoto devido à alta acurácia dos dados obtidos pelos sensores. Espírito-Santo et al. (2005) citam que deve ser empregado o uso de imagens de satélite para compreender melhor o uso do solo e padrões de distribuições das tipologias florestais no Brasil. Considerando a vegetação nativa e suas variações, podemos verificar que os componentes foliares tem importância significativa na absorção e reflectância da energia que incide na região do infravermelho, o que faz necessário conhecer seu comportamento nas bandas dos sensores (JENSEN ,2000).

Couteron et al. (2005), realizaram estudos de estrutura e dinâmica de florestas e, assim, colocou o sensoriamento remoto como ótima ferramenta para estudar estoque de carbono. O uso de imagens de alta resolução permite a estimativa de biomassa e carbono em estudos florestais, através de correlações entre dados dendrométricos e espectrais (XIMENES & AMARAL, 2010).

Desse modo, a prática de estimar parâmetros quali/quantitativos confiáveis de florestas nativas, através de dados coletados por sensores remotos, é algo que permite conhecer melhor a floresta, dar informações para melhor tomada de decisão, evitar maiores gastos de campo e proporcionar segurança no trabalho da equipe operacional. Assim, este trabalho faz uma revisão da literatura científica nacional e internacional sobre o uso de sensores remotos passivos para estimar indiretamente a biomassa, mostrar algumas técnicas utilizadas para estimá-la e, assim, proporcionar uma melhor compreensão do assunto, podendo servir como estímulo para novos estudos.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Reunir um conjunto de informações, baseadas em literatura nacional e internacional, para elaborar uma revisão sobre o uso do sensoriamento remoto na estimativa de biomassa de florestas.

2.2 ESPECÍFICOS

- Mostrar atividades, no âmbito florestal, nas quais o sensoriamento remoto pode servir como ferramenta para estimar biomassa;
- Apresentar alguns sensores utilizados em estudos de estimativa remota de biomassa;
- Mostrar quais dados espectrais são mais utilizados para explicar as variáveis dependentes desejadas;

- Ressaltar as principais técnicas de elaboração de modelos, correlacionando dados dos sensores e dados das florestas; e
- Descrever possíveis problemas que possam existir na estimativa de biomassa em florestas.

3. MATERIAL E MÉTODO

Este trabalho se trata de uma pesquisa de revisão bibliográfica de caráter científico. Composta por informações de origem científica nacional e internacional, tendo o foco nas áreas de Inventário Florestal e Sensoriamento Remoto voltado à Ciências Florestais. As informações foram coletadas de forma indireta, baseadas em fontes como: sites, artigos científicos, teses e periódicos. As plataformas e banco de dados consultados para conseguir tais materiais foram: Scielo, Science Direct, Scopus e Google Acadêmico. O levantamento bibliográfico foi realizado durante o mês de Agosto e Outubro de 2016. Munido dos materiais coletados, foi realizada uma leitura comparativa e detalhada entre os dados analisados e relatados por diversos autores, a fim de que fosse possível discutir e apresentar os resultados gerados.

As buscas foram realizadas utilizando como palavras-chave: “parâmetros dendrométricos”, “sensoriamento remoto”, “estimativa remota para parâmetros dendrométricos”, “estimativa de volume utilizando sensoriamento remoto”, “estimativa de volume utilizando imagens de satélite”, “estimativa de biomassa”, “estimativa de fitomassa”, “biomassa acima do solo”. No idioma Inglês, foram usadas as seguintes palavras-chave: “dendrometric parameters”, “remote sensing”, “remote estimation of dendrometric parameteres”, “timber volume estimation using remote sensing”, “timber volume estimation using imagery”, “over-ground biomass”, “below ground biomass”, “above ground biomass”.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na revisão de literatura realizada, foram encontrados diversos trabalhos nacionais e internacionais sobre estimativa de biomassa acima do solo em florestas

nativas. Neste trabalho, serão analisados textos científicos que procuraram estimar, através de sensores remotos passivos, biomassa acima do solo em locais de vegetação natural. Nas buscas realizadas na internet, algumas plataformas, como Google Acadêmico, Scielo, Science Direct, Scopus, foram utilizadas para encontrar trabalhos de cunho científico sobre o tema. Assim, o número de resultados por palavras/termos pesquisados pode ser observado na Tabela 1. Como pode ser notado, o Google Acadêmico permite o acesso a um número maior de materiais de estudo em relação às demais. Já nas outras plataformas, podemos notar um maior número de resultados quando utilizadas, nas buscas, palavras/termos na língua inglesa em comparação à língua portuguesa.

TABELA 1 – Número de resultados por palavras pesquisadas em cada uma das plataformas de busca utilizadas.

Palavras pesquisadas	Google Acadêmico	Scielo	Science Direct	Scopus
Parâmetros dendrométricos	2.600	6	0	6
Sensoriamento remoto	38.600	288	110	131
Estimativa remota de parâmetros dendrométricos	485	0	0	0
Estimativa de biomassa utilizando sensoriamento remoto	3.900	3	1	1
Estimativa de biomassa utilizando imagens de satélite	5.190	0	1	1
Estimativa de biomassa	38.900	88	32	17
Estimativa de fitomassa	5.590	12	2	3
Estimativa de biomassa acima do solo	23.000	10	13	1
Biomassa acima do solo	37.000	49	21	4
Dendrometric Parameters	3.910	12	220	104
Remote sensing	2.000.000	856	173.429	180.362
Remote estimation of dendrometric parameters	1.120	1	42	3
Biomass estimation using remote sensing	134.000	8	7.949	1.519
Biomass estimation using imagery	54.800	0	3.502	493
Biomass estimation	1.540.000	152	63.937	9.191
Over-ground biomass	2.280	25	83.786	26
Below ground biomass	1.450.000	21	62.687	3.204
Above ground biomass	1.730.000	136	77.672	8.173

Vários estudos foram realizados na estimativa de biomassa ao longo dos anos, e pode-se perceber uma evolução na resolução espacial e espectral dos sensores empregados. Hoje tem-se acesso mais fácil a satélites hiperespectrais,

facilitando o mapeamento de diferentes superfícies de solo, através de análises espectrais (ALIXANDRINI, 2004; CARVALHO-JR et al., 2005; SCHRAMM & VIBRANS, 2007; JACON, 2016). Desse modo, Galvão et al. (2005), dizem que para diferenciarmos objetos de grande semelhança espectral, devemos utilizar índices e razões de banda. Jacon (2016) fala do uso de dados hiperespectrais pela comunidade científica a fim de estimar dados físicos, químicos e biológicos das regiões cobertas por vegetação.

Pode-se observar sensores de baixa resolução espacial em trabalhos de Barbosa et al. (1999) apud Sousa et al. (2015), utilizando *NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer* com valor de resolução de 1,1 km, Fraser & Li (2002) usando Spot Vegetation com resolução de 1 km, e Baccini et al. (2004) utilizando o MODIS com resolução de 500 metros. Baccini et al. (2004) com intuito de aumentar a acurácia e a precisão das estimativas, utilizaram também dados oriundos de topografia e clima. De acordo com Sousa et al. (2015), o uso de sensores de baixa resolução espacial não é recomendável, uma vez que um pixel pode conter mais de uma fitofisionomia, gerando, segundo Lu (2006), divergências de dados obtidos em campo, como em um inventário, e dados advindos remotamente.

A média resolução espacial de sensores é amplamente utilizada para estimar biomassa acima do solo (ROY & RAVAN, 1996; STEININGER, 2000; SCHNEIDER et al., 2003; PHUA & SAITO, 2003; FOODY et al., 2003; CALVÃO & PALMEIRIN, 2004; ZHENG et al. 2004; LU et al., 2004; LU, 2006; MONTEIRO et al, 2007; GASPARRI et al. 2010; BERRA et al. 2011; VIANA et al., 2012; ALMEIDA et al., 2014; KARLSON et al., 2015). Timothy (2015) considera que é comum esse uso pelo fato das imagens, principalmente produtos Landsat, estarem disponíveis no site da NASA. Existem autores que fazem combinações com imagens de satélite de baixa e média resolução (HAME et al., 1997 apud SOUSA et al., 2015).

Em relação às imagens provenientes de sensores de alta resolução espacial, temos como principais satélites Quick Bird, IKONOS (SCHNEIDER et al., 2003; SOUSA, et al., 2015) e IKONOS II (WATZLAWICK et al., 2006, 2009). Lu (2006) diz que os dados gerados por estes sensores são muito utilizados para validar dados provenientes de sensores de menor resolução espacial. A alta resolução permite a visão de árvores individuais, formato e área de copa, podendo predizer valores de biomassa acima do solo (LU, 2006; SOUSA et al., 2015).

Muitos autores, na etapa de pré-processamento das imagens usadas em seus trabalhos, realizam uma transformação chamada Tassel Cap, que consiste em uma transformação ortogonal, onde há a possibilidade de analisar o índice de vegetação verde (GVI), e são observados o verdor, brilho e a umidade (PHUA & SAITO, 2003; EASTMAN, 2006; VIANA et al., 2012; KARLSON et al., 2015). Assim sendo, essas observações permitem fazer associações com importantes parâmetros físicos das florestas (CRIST & KAUTH, 1986 apud PHUA & SAITO, 2003). Na Transformação de Tassel Cap, há uma maior correlação da biomassa com índices de brilho e umidade, porém apenas o brilho se mostrou significativo (ROY & RAVAN, 1996).

A correlação entre bandas/índices de vegetação e estimativa de biomassa podem variar muito conforme o tipo de floresta (folhosas e coníferas) e a proporção de composição da mesma (ZHENG et al., 2004). As bandas verde e azul possuem, geralmente, menores correlações, pois nessas regiões, a vegetação se comporta com maior absorção e menor reflectância (WATZLAWICK et al., 2009; JENSEN, 2000). Baccini et al. (2004) encontraram forte correlação negativa entre níveis baixos de reflectância do infravermelho e valores de biomassa. Zheng et al. (2004) afirmaram que se separarmos a paisagem por tipologias florestais, conseguimos aprimorar a estimativa de biomassa acima do solo, uma vez que cada tipo reflete diferentemente no infravermelho próximo.

Além das bandas, muitos autores acabam por utilizar relações matemáticas entre elas, os chamados índices de vegetação. Glenn et al. (2008), afirmaram que os índices são umas das ferramentas mais antigas do sensoriamento remoto, pois consegue-se explicar as variações das condições vegetais. Lu (2004) e Lu et al. (2006), revelam que os índices são uma ferramenta muito útil para reduzir impactos nas reflectâncias, ocasionados por sombras e condições do povoamento. As maiores correlações foram entre índices de vegetação e biomassa, se compararmos correlações entre bandas espectrais sozinhas e dados de campo (PINHEIRO et al., 2008; GASPARRI et al., 2010; ALMEIDA et al., 2014). Entre os mais adotados (CALVÃO & PALMEIRIN, 2004; VIANA et al., 2009, 2012; KARLSON et al., 2015), e com boa correlação com dados do inventário florestal, é o NDVI – Normalized Difference Vegetation Index. Este é calculado através da divisão entre a diferença das bandas do vermelho e infra-vermelho pela somatória

destas mesmas bandas (PHUA & SAITO, 2003; ZHENG et al., 2004; CALVÃO & PALMEIRIN, 2004; FERREIRA et al., 2008; VIANA et al., 2012; SOUSA et al., 2015). Gao et. al. (2000), dizem que o NDVI é muito sensível à presença de clorofila na banda do vermelho. Foody et al., 2001, citam que o NDVI, por mais que seja muito utilizado para expressar correlações entre dados provenientes do satélite e dados reais das florestas, é melhor empregado para expressar parâmetros biofísicos de florestas temperadas, e não tem grandes sucessos para explicar florestas tropicais. Zheng et al. (2004) e Almeida et al. (2014) também citam outros índices muito empregados na estimativa de biomassa e outros parâmetros dendrométricos, entre eles, podemos destacar Spectral Vegetation Index (SVI). A Razão Simples (SR), citada por Xie et al. (2016), Almeida et al. (2014), Schlerf et al. (2005) e Jordan (1969) apud. Cassol (2013), é o índice mais simples, porém gera boas informações para biomassa vegetal. Viana et al. (2012) e Xie et al. (2016) citaram em seus estudos, Enhanced Vegetation Index (EVI). Além deles, podemos citar aqueles que se baseiam na reflectância do solo, como Vegetação Ajustada ao Solo – SAVI (GASPARRI et al., 2010; ALMEIDA et al., 2014; FERRAZ et al., 2014). Gasparri et al. (2010), em seu trabalho sobre vegetações secas (Chacos) na Argentina, revelam que este índice, em caso de pouca variação nos tipos de solo na região de estudo, pode não gerar modelos de predição de biomassa melhores, pois não há mudanças significativas. Há algumas variações para determinados índices, Zheng et al. (2004) citam também MSAVI, que é uma modificação do SAVI, e Nemani et al. (1993) multiplicaram o NDVI por um fator gerado a partir de razões de bandas de médio infravermelho, obtendo um índice chamado NDVIc.

A estimativa de biomassa acima do solo é feita indiretamente através de relações entre dados espectrais, bandas e índices provindos dos sensores, e informações advindas do campo, como do inventário florestal (WATZLAWICK et al., 2009; GASPARRI et al., 2010; ALMEIDA et al., 2014; XIMENES & AMARAL, 2010; FERRAZ et al., 2014), usando muitas vezes regressões lineares e não lineares (ZHENG et al., 2004) para criar modelos.

Do inventário florestal, podemos utilizar dados de fácil mensuração, como diâmetro à altura do peito e altura, para utilizarmos funções alométricas de estimativa de biomassa (ZHENG et al., 2004; CORREIA et al., 2008; SOUSA et al., 2015). Existem diversos métodos indiretos para conseguirmos estimar a biomassa

em florestas, usando técnicas de sensoriamento remoto, dados de inventário e correlações entre as duas informações (VIANA et al., 2012), como análises de regressão, k-nearest neighbor (k-vizinho mais próximo) e redes neurais (ROY & RAVAN, 1996; STEININGER, 2000; FOODY et al., 2001, 2003; ZHENG et al., 2004; SOUSA et al., 2015). Baccini et al. (2004) fizeram uma análise exploratória entre dados de biomassa, topografia, precipitação e informações de sensores remotos para obter as melhores correlações entre esses dados. Os autores utilizaram, posteriormente, um algoritmo de Random Forest, baseando-se no trabalho de Breiman (2001), chegando num modelo menos sensível a ruídos e de maior acurácia. Almeida et al. (2014) observaram correlações negativas entre bandas e variáveis dendrométricas, e positivas em relação aos índices de vegetação. Gasparri et al. (2014) revelaram que outro importante fato observado foi que as correlações, entre dados do sensoriamento remoto e da biomassa acima do solo, variam, nos seus graus de relação, de acordo com a data de aquisição das imagens, devido a disponibilidade de água no solo. Calvão & Palmeirim (2004), citam que algumas tipologias florestais têm sua resposta espectral muito dependente da precipitação, por isso, na região do Mediterrâneo, é interessante analisar imagens durante o verão. Zheng et al. (2004) encontraram forte correlação entre biomassa de folhosas e valores de reflectância do infravermelho próximo usando modelos lineares e, para coníferas, usou modelo sigmoidal relacionando biomassa e NDVIc (corrigido). Para predizer suas variáveis de interesse, Viana et al. (2012) testaram em seu trabalho, relações diamétricas diretas, que se baseiam em regressões como Mínimos Quadrados Ordinários e uso de krigagem juntamente com dados de sensoriamento remoto.

Em regiões de terreno irregular e excesso de declividade, pode-se constatar baixas correlações entre reflectância e biomassa acima do solo, fazendo-se necessário amenizar esses efeitos (HOLBEN & JUSTICE, 1981 apud LU, 2006). Sendo assim, Conese et al. (1988) dizem que deve-se usar transformações lineares e análises de componentes principais (PCA). Lu (2006) também diz que a análise de componentes principais é utilizada quando é necessário fazer fusões de informações com diferenças espectrais e espaciais, sendo esta técnica empregada, para manter integridade dos dados, na estimativa de biomassa.

Como foi previamente falado, outra técnica para estimar biomassa acima do solo são as Redes Neurais Artificiais – RNA (GALO 2000; ALMEIDA et al., 2009; XIE et al., 2009; VAHEDI, 2016; WANG et al., 2016). Segundo Ferraz et al. (2014) e Shoeninguer (2006), os resultados estimados foram melhores que aqueles obtidos através da técnica de Regressão Linear, pois foi possível expressar, com pouca variação os dados, os resultados do inventário florestal. As Redes Neurais Artificiais sempre que bem alimentadas melhoram os resultados (ALMEIDA, et al., 2009; VAHEDI, 2016). Segundo os autores, as redes são treinadas e retro-alimentadas para que o erro diminua. Xie et al. (2009) e Vahedi (2016) realizaram trabalhos comparando metodologias de regressão e Redes Neurais Artificiais para expressar biomassa acima do solo, e puderam averiguar que as redes neurais artificiais possuem uma construção de modelos mais complexa, gerando resultados de maior acurácia, possuindo menores RMSE (erro quadrático médio) e RMSE% (erro quadrático médio em porcentagem).

Um problema sério que pode ser visto na estimativa de biomassa acima do solo, é a presença de sombras nas imagens estudadas (LU et al., 2004; LU, 2006. PINHEIRO et al., 2008). Alta variação espectral e sombras causadas pelo relevo e pelo dossel podem dificultar bastante a criação de modelos para expressar biomassa (STEININGER, 2000; LU, 2006). Pinheiro et al. (2008) relatam que em locais com maior exposição do solo, houve maiores reflectâncias, gerando correlações menores, e além disso, por ter níveis de dossel (entre árvore e arbustos), há presença de sombra, que segundo Lu et al. (2004), também favorece a queda das correlações. Pinheiro et al. (2008) revelam que o satélite QuickBird por ter uma resolução espacial alta (2,4 m) gera muito destaque nas sombras dos indivíduos e dos arranjos do cerrado, favorecendo menores correlações. Baccini et al. (2004) falam que florestas mais velhas possuem um dossel de diversas camadas, e essa estrutura favorece o aumento do número de sombras, o que explicou a correlação negativa entre biomassa e a banda 6 do sensor MODIS. Roy & Ravan (1996), em seu estudo, observaram uma forte relação inversa entre números digitais e biomassa, fato que era esperado pelo aumento do sombreamento dentro dos povoamentos e menor luminosidade em sub-bosque. Eckert (2012) apud. Karlson et al. (2015), disse que a textura possui alta correlação

com biomassa em ambientes abertos, já que a mesma captura estruturas de sombra geradas por árvores largas.

5. CONCLUSÕES

Como foi observado nos diversos trabalhos discutidos, o sensoriamento remoto pode ser utilizado como ferramenta para estimar biomassa acima do solo de florestas nativas.

A estimativa remota pode ser empregada para fiscalização de florestas, concessões florestais, quantificação de estoque de carbono e projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo.

O uso de imagens de satélite é recomendado pois consegue cobrir toda a área de estudo, pode-se observar a evolução dos locais de interesse no passar do tempo e é possível diminuir gastos de trabalho de campo. Isso é possível pois há no mercado, hoje, diversos sensores, sendo eles de altas e médias resoluções espaciais, espectrais e temporais.

Os dados espectrais, principalmente as bandas da região do vermelho, infravermelho e índices de vegetação, são aqueles que, geralmente, por apresentarem maiores correlações, conseguem explicar melhor as variáveis dependentes desejadas, quando se usa a metodologia de regressões.

Podemos fazer uso do método de Regressão Linear para criar modelos que estimem as variáveis dependentes desejadas, pois existem boas correlações entre algumas variáveis independentes e, segundo os autores citados, geram modelos de maior acurácia. Mas, como foi visto, o uso de Redes Neurais Artificiais (RNA) pode ser explorado e melhor estudado, uma vez que a rede pode ser alimentada com seus próprios erros, explicando com maior precisão as variáveis dependentes, e assim, aumentar o conhecimento, pontos fortes e gargalos, para gerar modelos mais fiéis à realidade das fitofisionomias naturais.

Um problema observado em diversos trabalhos e em diferentes fitofisionomias estudadas, é a presença de sombra e sua ocasional diminuição de correlação entre dados (campo-sensores) , causando alteração nos valores de reflectância.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo incentivo à continuação de meus estudos e, principalmente pelas orações a mim direcionadas. Agradeço ao apoio sincero de minha namorada e de meus amigos. Fico muitíssimo grato à toda equipe técnica, professores, minha orientadora e tutores deste curso de MBA, pelo trabalho e dedicação aos alunos, pela montagem e estruturação das aulas e dos materiais e, principalmente, por cederem parte de seu tempo para sanar as possíveis dúvidas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIXANDRINI Jr, M. J. O potencial das imagens hiperespectrais. In: **Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário (COBRAC)**, 10-14 Out. 2004, Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 2004.

ALMEIDA, A. Q.; MELLO, A. A.; DÓRIA-NETO, A. L.; FERRAZ, R. C. Relações Empíricas entre características dendrométricas da Caatinga brasileira e dados TM Landsat 5. **Pesq. Agropc. bras., Brasília**, v49, n.4, p. 306-315, abr, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000400009

ALMEIDA, A.C.; BARROS, P.L.C.; MONTEIRO, J.H.A.; ROCHA, B.R.P. Estimation of Aboveground Forest Biomass in Amazonia with Neural Networks and Remote Sensing. **IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS**, VOL. 7, NO. 1, MARCH 2009

BACCINI, A., FRIEDL, M.A., WOODCOCK, C.E., WARBINGTON, R. Forest biomass estimation over regional scales using multisource data. **Geophysical Research Letters**. 2004. 31, L10501.

BARBOSA, P.M., STROPPIANA, D., GREGOIRE, J., PEREIRA, J.M.C., 1999. An assessment of vegetation fire in Africa 1981–1991: burned areas, burned biomass, and atmospheric emissions. **Global Biogeochem. Cycles** 13, 933–950.

BERRA, E.F.; PEREIRA, R.S.; BRANDELERO, C.; GOERGEN, L.C.G.; DESSBESELL, L.; SCHUH, M.S.; KERVALD, L.A. Estimativa de volume florestal com imagem landsat 5. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1745.

BREIMAN, L. Random forests, **Machine Learnings**, 45, 5-32. 2001.

CALVÃO, T., PALMEIRIM, J.M. Mapping Mediterranean scrub with satellite imagery: biomass estimation and spectral behaviour. **Int. J. Remote Sens.** 25 (16), 2004. 3113–3126.

CARVALHO-JR, O. A.; GUIMARÃES, R.F.; MARTINS, E.S.; CARVALHO, A.P.F.; GOMES, R.A.T. Aplicação do método de identificação espectral para imagens do sensor Aster em ambiente de Cerrado. **Revista Brasileira de Geofísica**. 2005. 23(2): 159-172

CASSOL, H.L.G. Estimativa de biomassa e estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila mista com uso de dados ópticos de sensores remotos. **Dissertação de Mestrado**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

CONESE, C., MARACCHI, G., MIGLIETTA, F., MASELLI, F. and SACCO, V.M. Forest classification by principal component analyses of TM data. **International Journal of Remote Sensing**, 9, pp. 1597–1612. 1988.

CORREIA, A.C., FAIAS, S., TOMÉ, M., EVANGELISTA, M., FREIRE, J., OCHOA, P. Ajustamento simultâneo de equações de biomassa de pinheiro manso no Sul de Portugal. [Simultaneous fitting of biomass equations for stone pine in southern Portugal]. **Silva Lusitana** 16, 197–205. 2008.

COUTERON, P.; PELISSIER, R.; NICOLINI, E. A.; PAGET, D. Predicting tropical forest stand structure parameters from Fourier transform of very high-resolution remotely sensed canopy images. **Journal of Applied Ecology**, v. 42, n. 6, p. 1121-1128, 2005.

CRIST, E.P., KAUTH, R.J. The tasseled cap de-mystified. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Vol. 52, pp. 81–86. 1986.

EASTMAN, J.R. Idrisi Andes. Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University, USA, 328 pp. 2006

ECKERT, S. Improved forest biomass and carbon estimations using texture measures from Worldview-2 satellite data. **Remote Sens**. 2012, 4, 810–829.

ESPÍRITO-SANTO, F.D.B.; SHIMABUKURO, Y.E.; ARAGÃO, L.E.O.C.; MACHADO, E.L.M. Análise da composição florística e fitossociológica da floresta nacional do Tapajós com o apoio geográfico de imagens de satélites. **Acta Amazonica** VOL. 35(2) 2005: 155 – 173.

FERRAZ, A.S.; SOARES, V.P.; SOARES, C.P.B.; RIBEIRO, C.A.A.S.; BINOTI, D.H.B.; LEITE, H.G. Estimativa do Estoque de Biomassa em um Fragmento Florestal Usando Imagens Orbitais. **Floresta e Ambiente**. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2014.029>.

FERREIRA, L.G.; FERREIRA, N.C.; FERREIRA, M.E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Scientiarum Biological Sciences**. Maringá, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.

FRASER, R.H.; LI, Z. Estimating fire-related parameters in boreal forest using SPOT VEGETATION. **Remote Sensing of Environment**. 2002. 82, 95–110.

FOODY, M. G.; CUTLER, M. E. J. Tree biodiversity in protected and logged Bornean tropical rain forests and its measurement by satellite remote sensing. **Journal of Biogeography**, v. 30, p. 1053-1066, 2003.

FOODY, M.G.; CUTLER, M.E.; MCMORROW, J.; PELZ, D.; TANGKI, H.; BOYD, H.S.; DOUGLAS, I. Mapping the biomass of Bornean tropical rain forest from remotely sensed data. **Global Ecology & Biogeography**. 2001. 10 , 379–387.

GAO, X.; HUETE, A.R.; NI, W.G.; MIURA, T. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote Sensing of Environment**, v.74, p.609-620, 2000. DOI: 10.1016/S0034-4257(00)00150-4.

GALO, M.L.B.T. Aplicação de redes neurais artificiais e sensoriamento remoto na caracterização ambiental do parque estadual morro do diabo. **Tese (Doutorado)**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 2000.

GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R.; TISOT, D. A. Discriminação de variedades de cana-de-açúcar com dados hiperespectrais do sensor EO-1/Hyperion. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 12. (SBSR), 16-21 abr. 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 381-388.

GASPARRI, N.I.; PARMUCHI, M.G.; BONO, J.; KARSZENBAUM, H.; MONTENEGRO, C.L. Assessing multi-temporal Landsat 7 ETM+ images for estimating above-ground biomass in subtropical dry forests of Argentina. **Journal of Arid Environments**, v.74, p.1262-1270, 2010. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2010.04.007.

GLENN, E. P.; HUETE, A. R.; NAGLER, P. L.; NELSON, S. G. Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. **Sensors**. v. 8. p. 2136-2160. 2008.

HÄME, T., SALLI, A., ANDERSSON, K., LOHI, A. A new methodology for the estimation of biomass of conifer-dominated boreal forest using NOAA AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, 18 (15), 3211–3243. 1997.

HOLBEN, B.N. and JUSTICE, C.O. An examination of spectral band ratioing to reduce the topographic effect on remotely sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, 2, pp. 115–123. 1981.

JACON, A.D. Caracterização espectro-sazonal de fitofisionomias do cerrado e estimativa de biomassa usando dados do sensor Hyperion/EO-1. **Dissertação de Mestrado**. Inpe. São José dos Campos. 2016.

JENSEN JR. 2000. Remote sensing of environment: an Earth resource perspective. New Jersey: **Prentice Hall Series in Geographical Information**, 544 p.

JORDAN, C. F. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. **Ecology**. v. 50. n. 4. p. 663-666. 1969.

KARLSON, M.; OSTWALD, M.; REESE, H.; SANOU, J.; TANKOANO, B.; MATTSSON, E. Mapping Tree Canopy Cover and Aboveground Biomass in Sudano-Sahelian Woodlands Using Landsat 8 and Random Forest. **Remote Sensing** 2015, 7, 10017-10041.

LU, D. et al. Relationships between forest stand parameters and Landsat *TM* spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. **Forest Ecology and Management**, v. 198, p. 149-167, 2004.

LU, D. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. **Int. J. Remote Sens.** 27 (7), 2006, 1297–1328.

MONTEIRO, A.; SOUZA-JR, C.; SALES, M. Estimativa de volume de madeira explorada com imagens de satélite: aplicações para o monitoramento de planos de manejo florestal na Amazônia. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26, 2007, INPE, P. 6843-6850.

NAGENDRA, H. Using remote sensing to assess biodiversity. **International Journal of Remote Sensing**. 2001, vol. 22, no. 12, 12, 2377-2400.

NEMANI, R., PIERCE, L., RUNNING, S.W., BAND, L. Forest ecosystem processes at the watershed scale: Sensitivity to remotely-sensed leaf area index estimates. **International Journal of Remote Sensing**, 14, 2519-2534. 1993.

PHUA, M.H.; SAITO, H. Estimation of biomass of a mountainous tropical forest using Landsat *TM* data. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Vol. 29, No. 4, pp. 429–440, 2003.

PINHEIRO, E.S.; DURIGAN, G.; SANTOS, J.R. Avaliação das imagens QuickBird para estimativa de fitomassa aérea do cerrado. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais** Vol. 4, p. 69-83 - Edição Especial 2008.

ROY, P.S.; RAVAN, S.A. Biomass estimation using satellite remote sensing data - An investigation on possible approaches for natural forest. **Journal of Biosciences**, Vol. 21, Number 4, June 1996, pp 535-561.

SCHOENINGER, E.R. Uso de redes neurais artificiais para o mapeamento de biomassa e carbono orgânico no componente arbóreo de uma floresta ombrófila densa. **[tese]**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006. PMid:16941603.

SCHLERF, M.; ATZBERGER, C.; HILL, J. Remote sensing of forest biophysical variables using HyMap imaging spectrometer data. **Remote Sensing of Environment**. v. 95. p. 177–194. 2005.

SCHNEIDER, M.J.; BELLON, O.R.P.; ARAKI, H. Experimentos em fusão de imagens de alta Resolução. **Bol. Ciênc. Geod.**, sec. Artigos, Curitiba, v. 9, no 1, p.75-88, 2003.

SCHRAMM, V.F.; VIBRANS, A.C. Uso de imagens hiperespectrais (EO-1 Hyperion) para detalhamento da detecção das formações florestais na bacia do Itajaí. **Dynamis revista tecno-científica**. 2007. Vol 13, n-1, 59-69.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H.R.; SANQUETTA, C.R.; ARCE, J.E. o estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 38, n. 1, jan./mar. 2007

SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; GORGENS, E. B. Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais e em plantios comerciais de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n.5, p. i-f., oct. 2005.

SOUSA, A.M.O., GOLÇALVES, A.C., MESQUITA, P., SILVA, J.R.M. Biomass estimation with high resolution satellite images: A case study of *Quercus rotundifolia*. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** 101 (2015) 69–79

STEININGER, M.K. Satellite estimation of tropical secondary forest above-ground biomass: data from Brazil and Bolivia. **Remote Sensing**, 2000, vol. 21, no. 6 & 7, 1139–1157

TIMOTHY, D. Optical remote sensing of aboveground forest biomass and carbon stocks in resource-constrained african environments. Thesis. Pietermaritzburg South Africa. 2015

VAHEDI, A. A. Artificial neural network application in comparison with modeling allometric equations for predicting above-ground biomass in the Hyrcanian mixed-beech forests of Iran. **Biomass and Bioenergy** 88. 2016. 66-76

VIANA, H., ARANHA, J., LOPES, D., COHEN, W.B. Estimation of crown biomass of *Pinus pinaster* stands and shrubland above-ground biomass using forest inventory data, remotely sensed imagery and spatial prediction models. **Ecological Modelling**. 226 (2012) 22– 35.

VIANA, H., COHEN, W.B., LOPES, D., ARANHA, J. Assessment of forest biomass for use as energy. GIS-based analysis of geographical availability and locations of wood-fired power plants in Portugal. **Applied Energy**. 2010. 87, 2551–2560.

VIANA, H., LOPES, D., ARANHA, J. Predição de biomassa arbustiva lenhosa empregando dados de inventário e o índice de diferença normalizada extraído em imagens Landsat 5 TM. **ISPV Millenium**. 2009.

WANG, L.; ZHOU, X.; ZHU, X.; DONG, Z.; GUO, W. Estimation of biomass in wheat using random forest regression algorithm and remote sensing data. **The Crop Journal**. 4. 2016. 212-219.

WATZLAWICK, L.F.; KIRCHNER, F.F.; SANQUETTA, C.R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucaria utilizando Imagens do satélite IKONOS II. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 169-181, abr.-jun., 2009

WATZLAWICK, L. F.; KOEHLER, H. S.; KIRCHNER, F. F. Estimativa de biomassa e carbono em plantios de *Pinus taeda* L. utilizando imagens do satélite IKONOS II. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 45-69, jan./jun. 2006.

XIE, Y.; SHA, Z.; YU, M.; BAI, Y.; ZHANG, L.A comparison of two models with Landsat data for estimating above ground grassland biomass in Inner Mongolia, China. **Ecological Modelling** 220 .2009. 1810–1818.

ZHENG, D., RADEMACHER, J., CHEN, J., CROW, T., BRESEE, M., LE MOINE, J., RYU, S. Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA. **Remote Sensing of Environment**. 93, 402–411. 2004.

ZIANIS, D., MUUKKONEN, P., MÄKIPÄÄ, R., MENCUCCINI, M. Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe, Silva Fennica Monographs 4. **Finnish Society of Forest Science**, pp. 63. 2005.